Archive of SID

Iranian Journal of Military Medicine
Vol. 13, No. 2, Summer 2011
Pages: 59-64

مجله طب نظامی
دوره ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰
صفحات: ۶۴-۵۹

محاسبه استرس گرمایی بر اساس شاخص WBGT در صنعت ذوب فلزات

احسان حاجی‌عظیمی* MSc، علی خوانین[۱] PhD، مجید آقاجانی[۲] MSc، اردلان سلیمانیان[۱] MSc

*دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۱]دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲]دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

اهداف: تنش‌های حرارتی یکی از آلاینده‌های فیزیکی زیان‌آور محیط کار است. در صورت عدم کنترل استرس‌های گرمایی، طیف گسترده‌ای از عوارض و بیماری‌ها، از اختلالات خفیف مثل سوزش تا شرایط مرگ‌آور نظیر شوک گرمایی ممکن است ایجاد شود. هدف از این تحقیق، بررسی تنش‌های حرارتی در یکی از کارخانجات ذوب فلزات به‌وسیله شاخص WBGT و ارایه راه‌کارهای کنترلی بود.

روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- مقطعی، چهار ایستگاه کاری یکی از کارخانجات ذوب فلزات تهران که کارگران آنها در مواجهه مستقیم و غیرمستقیم با گرما بودند، انتخاب شدند و مراحل اندازه‌گیری و ارزیابی تنش حرارتی در چهار روز پیاپی از روزهای نیمه مرداد ۱۳۸۵ در آنها انجام شد. از دماسنج‌های شیشه‌ای، تر چرخان، گوی‌سان استاندارد و کاتا نقره‌اندود با فاکتور کاتا ۴۲۰ و دامنه ۵۲ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب برای اندازه‌گیری دمای خشک، تر طبیعی، تابشی و سرعت جریان هوا استفاده شد. داده‌ها با آمار توصیفی و به‌صورت دستی تحلیل شد.

یافته‌ها: WBGT در تابستان ۱۳۸۵، در اتاق کنترل خط نورد و قسمت برش کمتر از حد استاندارد بود. $WBGT_{TWA}$ سکوی ذوب‌ریزی معادل ۲۷/۴۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که نشان داد کارگران این قسمت در مقایسه با مقدار حد آستانه مجاز مواجهه با گرما طبق پیشنهاد ACGIH، با تنش حرارتی بیشتر از حد مجاز مواجه بودند.

نتیجه‌گیری: در سکوی ذوب‌ریزی، شرایط جوی در فصل تابستان برای انجام کار مساعد نیست و باید تدابیری برای کنترل گرمای تابشی اندیشیده شود.

کلیدواژه‌ها: استرس گرمایی، شاخص WBGT، ذوب فلزات

Heat stress measurement according to WBGT index in smelters

Haji Azimi E.* ***MSc*****, Khavanin A.**[1] ***PhD*****, Aghajani M.**[2] ***MSc*****, Soleymanian A.**[1] ***MSc***

*Faculty of Medicine, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[1]Faculty of Medicine, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2]Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Aims: Thermal stress is one of disturbing physical polluting factors of work environment. A wide spectrum of complications and diseases from mild disorders such as burn sensation to lethal conditions such as thermal shock may occur, due to uncontrolled thermal stress. This study was performed to evaluate thermal stress in one of Tehran's smelteries according to WBGT index and to present control methods.

Methods: In this descriptive cross-sectional study, four stations were selected in one of Tehran's smelteries which its staff was exposed to heat directly and indirectly and stages of evaluation and measuring thermal stress were performed on four successive days of mid-August, in year 2006. Glass thermometer, wet bulb thermometer, standard globe thermometer and silvered Kata thermometer with K=420 and range of 52-55C° were used respectively for measuring dry, natural wet and radiant temperature and air velocity. Data were manually analyzed using descriptive statistics.

Results: WBGT was less than threshold limit value in forging strain and cutting stations in summer of 2006. $WBGT_{TWA}$ was estimated 27.49C° in foundry platform, which showed that its workers were exposed to higher thermal stress than allowed, compared to threshold limit value for heat exposure according to ACGIH suggestion.

Conclusion: Atmospheric conditions are not favorable for work in foundry platform in summer season and measures should be taken in order to control radiant heat.

Keywords: Thermal Stress, WBGT Index, Smeltery

نویسنده مسئول: احسان حاجی‌عظیمی. تمام درخواست‌ها باید به نشانی hajiazimi.ehsan@yahoo.com فرستاده شوند.

دریافت مقاله: ۸۹/۴/۸ پذیرش مقاله: ۸۹/۶/۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

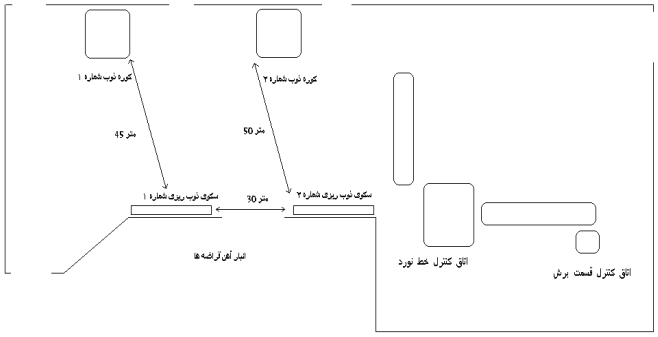
از آن‌جا که در محیط‌های کاری، هیچ فرآیندی با راندمان ۱۰۰٪ انجام نمی‌گیرد، متاسفانه بخشی از کارآیی مورد نظر، به‌صورت محصولات ناخواسته و نامطلوب درمی‌آید. این بخش (که می‌تواند دارای منشا انرژتیک یا مادی باشد)، چنان‌چه از حدی تجاوز نماید که با ایجاد اختلالات و بیماری‌های مختلف، سلامتی انسان را به خطر اندازد، "آلاینده‌های زیان‌آور محیط کار" نامیده می‌شود [۱].

تنش‌های حرارتی، یکی از آلاینده‌های فیزیکی زیان‌آور محیط کار است. *میر* و *رَپ* در سال ۱۹۹۵ اظهار داشتند که با وجود پیشرفت تکنولوژی، استرس گرمایی به‌عنوان یکی از عوامل آزاردهنده کارگران فرانسوی به‌شمار می‌رود. تحقیقی که توسط وزارت کار و امور اجتماعی فرانسه انجام شد، نشان داد میزان مواجهه با استرس گرمایی در بین کارگران فرانسوی حدود ۱۶/۶٪ است. البته در تحقیق مشابهی در سال ۱۹۷۹ میزان استرس حرارتی ۱۹/۴٪ بیان شده بود و این نشان‌دهنده کاهش استرس حرارتی با پیشرفت تکنولوژی است [۲]. در شرایط گرمایی شدید، بدن پاسخ‌های فیزیولوژیکی از خود نشان می‌دهد که به آنها "استرین" می‌گویند، از آن جمله می‌توان به بالارفتن ضربان قلب و دمای بدن در اثر مواجهه با گرما اشاره نمود [۱]. در مطالعه‌ای در مورد اثرات گرمای محیط کار بر کارگرانی که به‌طور متناوب کار می‌کردند، مشخص شد به‌ازای افزایش دمای محیط به‌میزان یک درجه سانتی‌گراد، ضربان قلب یک ضربه در دقیقه افزایش می‌یابد [۳]. درصورت عدم کنترل استرس‌های گرمایی، ممکن است طیف گسترده‌ای از عوارض و بیماری‌ها اعم از اختلالات خفیف مثل سوزش تا شرایط مرگ‌آور نظیر شوک‌های گرمایی ایجاد شود [۴].

اولین گام در مواجهه با کلیه عوامل زیان‌آور محیط کار از جمله گرما، شناسایی ایستگاه‌های کاری با ریسک بالا و سپس اندازه‌گیری شرایط موجود با دستگاه‌های مناسب است. در مرحله ارزیابی، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استانداردها مقایسه می‌شود تا قضاوت درستی در مورد شرایط انجام شود. از آن‌جا که متغیرهای محیطی نظیر دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و سرعت جریان هوا همراه با فعالیت فرد و نوع لباس در ایجاد تنش حرارتی و میزان آن موثرند، برای ارزیابی تنش‌های گرمایی، شرایط حاکم خلاصه شده و به‌صورت یک عدد ارایه می‌شود که به آن "شاخص استرس حرارتی" می‌گویند [۱].

شاخص دمای تر گویسان (WBGT) از جمله شاخص‌های ارزیابی به‌شمار می‌رود که در آن متغیرهای دمای تر، دمای خشک، دمای تابشی و متابولیزم کاری با هم ترکیب شده و به‌صورت یک عدد نمایش داده می‌شود. در مطالعه *جعفری* به‌منظور تعیین شاخص بهینه استرس گرمایی برای کارگران شیفت کار کارخانه ریخته‌گری، شاخص WBGT نسبت به سایر شاخص‌ها از برتری محسوسی برخوردار بود [۵]. در مطالعه *سری‌واتاوا*، تنش حرارتی در کارخانه شیشه در هند با استفاده از شاخص‌های WBGT، MRT (میانگین دمای تابشی) و CET (تصحیح درجه حرارت موثر) مورد بررسی قرار گرفت و شاخص WBGT برای تعیین ساعت کار و استراحت، مناسب تشخیص داده شد [۶].

هدف از این تحقیق، شناسایی ایستگاه‌های کاری پرمخاطره از لحاظ استرس گرمایی، اندازه‌گیری متغیرهای موثر در استرس گرمایی، ارزیابی استرس گرمایی در ایستگاه‌های پرمخاطره براساس شاخص WBGT، شناسایی علل افزایش احتمالی شاخص WBGT نسبت به مقادیر استاندارد در برخی از ایستگاه‌ها و در نهایت پیشنهاد راه‌کارهایی برای بهبود شرایط کاری بود.



شکل ۱) نمای شماتیک کارخانه

روش‌ها

این مطالعه به‌صورت توصیفی- مقطعی در تابستان ۱۳۸۵ در یکی از کارخانجات ذوب فلزات تهران انجام شد. ابتدا لازم است شرحی از فرآیند کار در کارخانه ذوب فلزات ارایه شود. کارخانه ذوب فلزات در واقع کارخانه ذوب آهن است که از قسمت‌های کوره‌های ذوب، سکوی ذوب‌ریزی، خط نورد و قسمت برش تشکیل شده است. نمای شماتیک از کارخانه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل می‌توان موقعیت قسمت‌های مختلف کارخانه نسبت به هم را مشاهده کرد. این کارخانه دارای دو کوره ذوب آهن از نوع قوس الکتریکی با ظرفیت ۱۰ تن در هربار شارژ است که از طریق دو اتاق کنترل مجزا و به‌وسیله دو کارشناس کوره، تحت کنترل قرار دارند. مواد اولیه این کارخانه، آهن قراضه است. به‌وسیله قوس الکتریکی، دمای کوره تا ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بالا می‌رود و این حرارت باعث ذوب‌شدن آهن‌قراضه‌ها می‌شود. بعد از این‌که مذاب آماده شد، آن را در داخل پاتیل بسیار بزرگی تخلیه می‌کنند و به‌وسیله جرثقیل سقفی به سکوی ذوب‌ریزی انتقال می‌دهند. پاتیل، ظرف خمره‌ای بسیار بزرگی از جنس چدن است که دیواره داخلی آن با آجر نسوز پوشانده شده و در کف آن دریچه‌ای برای تخلیه مذاب تعبیه شده است. در سکوی ذوب‌ریزی قالب‌هایی که در اصطلاح "کوکیله" نامیده می‌شوند، به‌صورت مجموعه‌های ۱۲تایی در کنار هم در پایین سکو قرار گرفته‌اند. در هربار شارژ کوره، یک مجموعه به‌کار گرفته می‌شود و کل محتویات پاتیل در داخل ۱۲ عدد کوکیله قالب‌گیری می‌شود. در مرکز هر مجموعه ۱۲تایی، یک استوانه مرکزی وجود دارد. به‌وسیله هماهنگی

www.SID.ir

Archive of SID

که بین کارگران سکوی ذوب‌ریزی و راننده جرثقیل سقفی به‌وجود می‌آید، دهانه خروجی پاتیل دقیقاً در بالای دهانه استوانه مرکزی قرار می‌گیرد. دریچه پایینی پاتیل، به‌وسیله اهرم باز شده و مذاب با فشار نسبتاً بالایی در داخل استوانه مرکزی تخلیه و از مجراهای پایینی وارد کوکیله‌ها می‌شود. به‌مرور که سطح مذاب در داخل کوکیله‌ها بالا می‌آید، کارگران سکو، مواد خاصی را روی مذاب داخل کوکیله‌ها می‌ریزند تا از اکسیدشدن سطح آن جلوگیری کنند و از طرف دیگر موجب خنک‌شدن آرام مذاب شوند تا خلل و فرج در مذاب به‌وجود نیاید. بعد از این‌که عملیات قالب‌گیری به پایان رسید، کارگران مشغول آماده‌کردن مجموعه بعدی کوکیله‌ها می‌شوند و این در حالی است که مجموعه قبلی در فاصله تقریباً یک‌متریِ آنها قرار دارد و تابش گرمایی زیادی به اطراف منتشر می‌کند. ۵ کارگر روی هر سکو کار می‌کنند و در مجموع ۱۰ کارگر در این پُست، مشغول انجام وظیفه هستند. بعد از این‌که کوکیله‌ها خنک شدند و مواد مذاب داخل آنها به‌حالت جامد درآمد (بعد از ۲-۱ ساعت)، شمش‌ها از داخل آنها تخلیه شده، در قسمتی از کارخانه انبار می‌شوند و به‌تدریج به قسمت نورد کارخانه انتقال می‌یابند. در قسمت نورد، شمش‌ها ابتدا در کوره حرارتی که سوخت آن از گاز طبیعی است تا دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌بینند و وقتی به‌حالت گداخته درآمدند، توسط ریل به دستگاه نورد منتقل می‌شوند.

لازم به ذکر است فرآیند گرمایش شمش‌ها و انتقال آنها به خط نورد، کاملاً به‌صورت اتوماتیک انجام می‌شود و از طریق اتاق کنترل مجزا به‌وسیله کارشناس کنترل می‌شود. در خط نورد، شمش‌ها از بین غلطک‌های مختلف عبور داده می‌شوند و از لحاظ سطح مقطع به‌شکل دایره یا مربع درمی‌آیند. اتاق کنترلِ خط نورد، در بالای خط و در ارتفاع ۱/۵متری نسبت به خط قرار دارد. در این اتاقک ۲ کارگر روی صندلی نشسته‌اند و به‌وسیله اهرم‌های کنترل، از طریق ۲ پنجره بسیار بزرگ که در دو طرف اتاق قرار گرفته است، روی خط اشراف دارند و شمش‌ها را از یک غلطک به غلطک دیگر منتقل می‌کنند. کارگران این قسمت به‌صورت غیرمستقیم در معرض گرمای تابشیِ ناشی از شمش‌های گداخته قرار دارند. بعد از این‌که شمش‌ها به‌شکل مناسب درآمدند، در همان حالتِ گداخته به‌وسیله ریل، مستقیم به بخش برش منتقل می‌شوند. در بخش برش به‌وسیله اره دوار بسیار بزرگ، شمش‌ها از لحاظ طول به اندازه‌های خاصی برش می‌خورند. این قسمت، از طریق اتاق کنترلی که در مجاورت خط قرار دارد توسط یک کارگر هدایت می‌شود. فاصله این اتاق تا خط حدود یک متر است و کارگر از طریق یک پنجره بزرگ، خط را کنترل می‌کند. این قسمت نیز به‌صورت غیرمستقیم درمعرض گرمای تابشی ناشی از شمش‌های گداخته قرار دارد. علاوه بر قسمت‌های ذکرشده، ۲ کارگر روی جرثقیل‌های سقفی و در ارتفاع ۳۰متری از زمین، ۵ کارگر در قسمت آجرچینی بدنه پاتیل و درب کوره و ۴ متخصص در قسمت تاسیسات کارخانه مشغول به کار هستند.

در مجموع، تعداد نیروی انسانی این کارخانه، ۲۷ نفر محاسبه شد. کارگران کارخانه ذوب فلزات از لحاظ بدنی دارای شرایط نسبتاً مناسبی بودند و در هیچ کدام از آنها اضافه وزن مشاهده نشد. دسترسی آنها به آب آشامیدنی در حد مطلوبی بود. هر کارگر با درنظرگرفتن ساعات اضافه‌کاری، ۱۰ ساعت در روز کار می‌کرد. ساعت شروع کار ۷ صبح و ساعت خاتمه کار ۷ عصر بود که در این فاصله از ساعت ۱۱/۵ تا ۱/۵ برای نماز و صرف ناهار از کارخانه خارج می‌شدند. کارگران ملبس به لباس نخی به رنگ سرمه‌ای تیره بودند و بعضاً از کلاه ایمنی، ماسک‌های کاغذی و کفش‌های پنجه‌فولادی به‌عنوان وسایل حفاظت فردی استفاده می‌کردند.

در مطالعات بهداشت حرفه‌ای و در مواجهه با عوامل زیان‌آور محیط کار، می‌بایست ایستگاه‌هایی مورد مطالعه قرار گیرند که کارگران آنها در تماس مستقیم یا غیرمستقیم با عامل زیان‌آور هستند یا به‌هیچ‌وجه در تماس نیستند، ولی از عامل زیان‌آور شکایت دارند. بنابراین با ارزیابی اولیه از کارخانه ذوب فلزات و همچنین اندازه‌گیری‌هایی که در سال‌های قبل در همین مقطع زمانی انجام شده بود، ۳ ایستگاه کاری که کارگران آنها در مواجهه مستقیم و غیرمستقیم با گرما و اجسام دارای درجه حرارت بالا بودند، یعنی سکوی ذوب‌ریزی، اتاق کنترل خط نورد و اتاق کنترل قسمت برش انتخاب شدند و مراحل اندازه‌گیری و ارزیابی تنش حرارتی در ۴ روز پیاپی از روزهای نیمه مرداد ۱۳۸۵ (گرم‌ترین روزهای سال) در آنها انجام شد. البته کوره‌های ذوب و پیش‌گرم خط نورد نیز دارای شرایط حرارتی بسیار بالا بودند، اما به‌دلیل خودکاربودن این قسمت‌ها و عدم حضور جدی و مکرر کارگران، مورد اندازه‌گیری قرار نگرفتند. در سکوی ذوب‌ریزی، همه کارگران سکو در هنگام تخلیه مذاب به‌طور همزمان در نزدیک‌ترین نقطه به مجموعه کوکیله در حال بارگیری قرار می‌گرفتند. لذا تنها یک ایستگاه اندازه‌گیری در نزدیک‌ترین نقطه به محل کار کارگران سکو انتخاب شد. از آن‌جایی که ریتم کار کارگران سکو به‌صورت ۷۵٪ کار و ۲۵٪ استراحت بود، یک ایستگاه اندازه‌گیری هم در اتاق استراحت کارگران سکوی ذوب‌ریزی در نظر گرفته شد. در هر اتاق کنترل نیز یک ایستگاه اندازه‌گیری در نزدیک‌ترین نقطه به محل استقرار کارگران انتخاب شد (براساس استاندارد ISO 7243) [۷]. در مجموع ۴ ایستگاه اندازه‌گیری این تحقیق عبارت بودند از سکوی ذوب‌ریزی، اتاق استراحت سکوی ذوب‌ریزی، اتاق کنترل خط نورد و اتاق کنترل قسمت برش.

برای اندازه‌گیری دمای خشک، دمای تر، دمای تابشی و سرعت جریان هوا به‌ترتیب از دماسنج شیشه‌ای معمولی، دماسنج تر چرخان، دماسنج گویسان استاندارد و دماسنج کاتا نقره‌اندود با فاکتور کاتا ۴۲۰ و ردیف سردشوندگی ۵۵-۵۲ درجه سانتی‌گراد استفاده شد که روی سه‌پایه و در ارتفاع مناسب نصب شده بودند. با توجه به استاندارد ISO 7243 شرایط جوی محیط کار ممکن است در ساعات مختلف شیفت کاری متفاوت باشد. استانداردهای ارایه‌شده در زمینه تنش‌های گرمایی، کل

www.SID.ir

Archive of SID

شیفت کاری را مدنظر قرار می‌دهند. در نتیجه، مقدار شاخص WBGT می‌بایست در مقاطع مختلف زمانی طی شیفت کاری تعیین و سپس متوسط زمانی آن محاسبه شود. بدین منظور، اندازه‌گیری‌ها در ۵ مرحله صورت گرفت (ساعات ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸) و در هر مرحله اندازه‌گیری‌ها ۵بار تکرار شد. از آن‌جایی که محیط از لحاظ دمایی متجانس بود، اندازه‌گیری‌ها فقط در ناحیه کمر کارگران (۱/۱ متر) انجام شد. لازم به ذکر است اندازه‌گیری هر متغیر در طول شیفت کاری ۲۵ بار تکرار شد. برای محاسبه شاخص WBGT، $WBGT_{TWA}$، سرعت جریان هوا و میانگین دمای تابشی (MRT) به‌ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ استفاده شد (جدول ۱) [۱]. برای تخمین میزان متابولیزم از جدول طبقه‌بندی میزان متابولیسم براساس فعالیت استفاده شد [۸، ۹].

جدول ۱) رابطه‌های مورد استفاده برای محاسبه شاخص WBGT، $WBGT_{TWA}$، سرعت جریان هوا و میانگین دمای تابشی (MRT)

رابطه (۱)	$WBGT=0.7tnw+0.3[(T_g-T_a)K+T_a] \quad K=0.75$
رابطه (۲)	$WBGT_{(TWA)}=\frac{(WBGT1\times T1)+(WBGT2\times T2)+\ldots+(WBGTn\times Tn)}{T1+T2+T3+\ldots+Tn}$
رابطه (۳)	$V=[(H/\theta-a)/b]^n \qquad H=F/T_c$
رابطه (۴)	$MRT=[(t_g+273)^4+2/5\times10^8V^{0.6}(t_g-t_a)]^{0.25}-273$

جدول ۲) شاخص‌های آماری مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های چهارگانه (دما برحسب درجه سانتی‌گراد و سرعت برحسب متر بر ثانیه)

ایستگاه‌های اندازه‌گیری	متغیر← شاخص آماری↓	دمای خشک	دمای تر	دمای گویسان	سرعت جریان هوا	میانگین دمای تابشی	WBGT
سکوی ذوب ریزی	میانگین	۳۴/۵۶	۲۴/۱۴	۴۲/۶۶	۰/۷	۵۷/۰۷	۲۹/۳
	انحراف‌معیار	۰/۷	۰/۵۶	۲/۸۴	۰/۰۱۶	۵/۹	۱/۰۲
	دامنه تغییرات	۱/۸	۱/۵	۸/۲	۰/۰۵	۱۷/۱۳	۲/۸۴
اتاق استراحت سکو	میانگین	۲۸/۲۴	۱۹/۴	۲۸/۲	۰/۸۹	۲۸/۴۲	۲۲/۰۶
	انحراف‌معیار	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۰۲۲	۰/۷۵	۰/۲
	دامنه تغییرات	۰/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۰۳	۱/۵۲	۰/۴۸
اتاق کنترل خط نورد	میانگین	۳۰/۴۲	۲۰/۷۸	۳۲/۳۸	۰/۷۵	۳۵/۹۳	۲۴/۱
	انحراف‌معیار	۰/۱۴۶	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۱۹
	دامنه تغییرات	۰/۴	۰/۸	۰/۶	۰/۰۳	۱/۰۷	۰/۵۹
اتاق کنترل قسمت برش	میانگین	۳۲/۲۴	۱۹/۴	۳۴/۳۸	۰/۷۷	۳۸/۲۴	۲۳/۷۳
	انحراف‌معیار	۰/۲	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۰۰۸	۱/۲۶	۰/۲۲
	دامنه تغییرات	۰/۶	۰/۸	۱/۴	/۰۲	۳/۶۳	۰/۶۹

جدول ۳) مقادیر متغیرهای زمینه‌ای تحقیق در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری.

ایستگاه اندازه‌گیری← متغیر زمینه‌ای↓	سکوی ذوب‌ریزی	اتاق استراحت سکو	اتاق کنترل خط نورد	اتاق کنترل قسمت برش
متابولیزم	۲۳۰	۶۵	۱۰۰	۱۰۰
ریتم کار- استراحت	۷۵٪ کار- ۲۵٪ استراحت	۷۵٪ کار- ۲۵٪ استراحت	کار مداوم	کار مداوم

شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای مستقل (دمای خشک، دمای تر، دمای گویسان، سرعت جریان هوا و میانگین دمای تابشی) و متغیر وابسته (WBGT) در ایستگاه‌های چهارگانه با استفاده از آزمون آماری T دانشجو محاسبه شد. با توجه به این‌که اندازه‌گیری‌ها در ۴ ایستگاه و در ساعات مختلف شیفت کاری انجام شد و از طرفی نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها مستقل از هم بود، توزیع داده‌ها نرمال فرض شد.

نتایج

دامنه تغییرات متغیرها در سکوی ذوب‌ریزی وسیع‌تر از ۳ ایستگاه دیگر بود (جدول ۲) و این به‌دلیل محصوربودن ایستگاه‌های اتاق کنترل خط نورد، قسمت برش و اتاق استراحت سکوی ذوب‌ریزی و در نتیجه قابلیت کنترل آنها از لحاظ دمایی در یک دامنه ثابت بود. همچنین ریتم کاری این ایستگاه‌ها و میزان مواجهه با گرمای تابشی در آنها ثابت بود. این در حالی است که سکوی ذوب‌ریزی تقریباً در فضای باز قرار داشت و از لحاظ دمایی غیر قابل کنترل بود و از طرف دیگر ریتم کار در آن متفاوت بود. این شرایط باعث شده بود با α=۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص WBGT در اتاق کنترل خط نورد و اتاق کنترل قسمت برش وجود نداشته باشد، در حالی که اختلاف میانگین این شاخص در سکوی ذوب‌ریزی و این دو ایستگاه کاملاً معنی‌دار بود. با مقایسه میانگین دمای تابشی و دمای گویسان

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه‌های اندازه‌گیری با میانگین دمای خشک این ایستگاه‌ها و اختلاف معنی‌دار آنها می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل بروز استرس حرارتی در این ایستگاه‌ها گرمای تابشی بوده است.

در جدول ۳، مقادیر متغیرهای زمینه‌ای در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری ارایه شده است. ریتم کار کارگران سکوی ذوب‌ریزی به‌صورت ۷۵٪ کار و ۲۵٪ استراحت بود که زمان استراحت خود را در اتاق استراحت سپری می‌کردند. بنابراین برای ارزیابی این قسمت، $WBGT_{TWA}$ به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$WBGT_{TWA}=(29.3\times7.5)+(22.06\times2.5)/10=27.49^{o}C$$

براساس نتایج ارایه‌شده در جدول ۲ و ۳ و مقایسه شاخص WBGT ایستگاه‌های اندازه‌گیری با مقادیر توصیه‌شده سازمان ACGIH (کنفرانس بهداشت‌کاران صنعتی- دولتی آمریکا) [۱۰]، می‌توان نتیجه گرفت که WBGT ایستگاه‌های اتاق کنترلِ قسمت برش و اتاق کنترل خط نورد با ریتم کار مداوم و کار سبک، کمتر از حد استاندارد بوده و شرایط حرارتی این ایستگاه‌ها در حد مجاز بوده است.

کارگران در قسمت سکوی ذوب‌ریزی کارخانه ذوب فلزات با تنش حرارتی بیشتر از حد مجاز مواجه بودند. سازمان ACGIH مقدار ۲۵/۹ درجه سانتی‌گراد را برای شرایط کاری سکوی ذوب‌ریزی پیشنهاد کرده است. در واقع حداقل ۱۰ نفر از کارگران کارخانه ذوب فلزات (۳۷٪) که در سکوهای ذوب‌ریزی کار می‌کردند، به‌واسطه کار خود در معرض استرس حرارتی قرار داشتند.

در سکوی ذوب‌ریزی با $\alpha=0/05$ مقدار شاخص WBGT و میانگین دمای تابشی (MRT) با هم رابطه خطی داشتند.

بحث

با توجه به این‌که یکی از عوامل اصلی بروز استرس حرارتی در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری گرمای تابشی است، استفاده از شاخص WBGT برای ارزیابی تنش حرارتی در این قسمت‌ها تایید می‌شود. *بریف* در مطالعه خود در سال ۱۹۹۷ به این نتیجه رسید که در شرایط وجود تابش حرارتی در محیط، شاخص WBGT بهتر از شاخص‌های دیگر بیانگر شرایط گرمایی محیط است [۱۱].

نتایج نشان می‌دهد، حداقل ۳۸٪ از کارگران کارخانه ذوب فلزات که در قسمت ذوب‌ریزی کار می‌کنند، به‌واسطه نوع فعالیت، نوع لباس کار و مجاورت با مواد مذاب، با تنش حرارتی بیش از حد مجاز مواجه هستند. *اکبر برزگر* و همکاران در تحقیقی که در تابستان سال ۱۳۸۵ در کارخانه نورد فولاد کرمانشاه انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کارگران آن کارخانه نیز در فصل تابستان با تنش‌های حرارتی بیشتر از حد مجاز مواجه هستند (۲۷/۹۴ درجه سانتی‌گراد=WBGT) [۱۲]. این در حالی است که *حسینعلی یوسفی* و *پروین احمدی‌نژاد* در تحقیقی با عنوان پایش مخاطرات عوامل زیان‌آور فیزیکیِ محیط کار، در یکی از صنایع فلزی اصفهان، مقدار شاخص WBGT در ایستگاه کوره این کارخانه را در ظهر یک روز تابستانی معادل ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر از حد مجاز برآورد کرده‌اند [۱۳]. علت تفاوت در ارزیابی تحقیق حاضر و تحقیق آقای *برزگر* با تحقیق آقای *یوسفی* را می‌توان در نوع فعالیتِ در حال انجام، جستجو کرد. در تحقیق حاضر و تحقیق دوم، کار از نوع سنگین و در تحقیق سوم کار از نوع سبک است. بنابراین با توجه به استاندارد ACGIH، ارزیابی شاخص WBGT برای اعداد تقریباً مشابه ۲۷/۴۹، ۲۷/۹۴ و ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد، متفاوت است.

جداسازی کارگران قسمت‌های نورد و برش از خط تولید و محصورسازی آنها در اتاقک‌هایی که با فاصله از خط تولید قرار دارند، باعث شده است مقدار زیادی از مواجهه این کارگران با تابش گرماییِ ناشی از شمش‌های گداخته کنترل شود.

کار در محیط‌های گرم علاوه بر کاهش قابلیت انجام کار، می‌تواند باعث بروز بیماری‌های متعددی شود که از مهم‌ترین آنها می‌توان به گرفتگی عضلات، ایجاد جوش‌های پوستی، خستگی مفرط، کاهش هوشیاری و ادراک و گرمازدگی اشاره کرد. همچنین گرما به‌عنوان ریسک‌فاکتور برای بیماری‌های قلبی- عروقی مطرح بوده و موجب افزایش حوادث ناشی از کار می‌شود [۱۴، ۷]. لذا زمینه مناسبی برای تحقیق در مورد شیوع این بیماری‌ها و همچنین حوادث ناشی از کار در بین کارگران سکوی ذوب‌ریزی (که با استرس گرمایی بیش از حد استاندارد مواجه هستند) وجود دارد. با توجه به موارد ذکرشده، اهمیت کاهش تنش‌های حرارتی در سکوی ذوب‌ریزی کارخانه ذوب فلزات ضروری است و می‌توان با تحقیق در مورد راه‌های کنترل گرما در این ایستگاهِ کاری، تا حد زیادی از بروز مشکلات ناشی از گرما جلوگیری کرد.

در سکوی ذوب‌ریزی به دلایلی که در بالا ذکر شد، کارگران در مواجهه با استرس گرمایی قرار دارند و بر طبق نتایج تحلیل آماری عامل اصلی ایجاد استرس گرمایی، گرمای تابشی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود با استفاده از سپرهای آلومینیومی منعکس‌کننده تابش گرمایی با راندمان ۹۵٪ مقدار زیادی از این تابش کنترل شود. همچنین استفاده از لباس‌های با رنگ روشن یا پیش‌بندهای منعکس‌کننده تابش گرمایی می‌تواند موثر باشد [۱۵].

دمای تر در ایستگاه سکوی ذوب‌ریزی، عدد ۲۴/۱۴ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. این متغیر بیان‌کننده دمایی است که می‌توان با رطوبت‌زنی، هوا را خنک کرد (استفاده از دستگاه‌های مرطوب‌کننده هوا برای خنک‌کردن هوا و کم‌کردن شاخص WBGT). استفاده از شیشه‌های منعکس‌کننده تابش گرمایی در پنجره‌های اتاق‌های کنترلِ قسمت برش و خط نورد می‌تواند تا مقدار زیادی در کنترل مواجهه با تابش گرمایی مفید باشد.

نتیجه‌گیری

میزان استرس گرمایی در سکوی ذوب‌ریزی بیشتر از حد مجاز است و

www.SID.ir

Archive of SID

اتخاذ تدابیر کنترلی در جهت کاهش گرمای تابشی، ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع

1- Golbabaei F, Omidvari M. Man and thermal environment. 2nd ed. Tehran: University of Tehran Publication; 2008. [Persian]

2- Bethea D, Parsons K. The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry. London; Southborough University; 2002.

3- Elieser K. Relationship of physiological strain to change in heart rate during work in heat. AIHA J. 1972;33:701-8.

4- Misaqi FL, Inderberg JG, Blumenstein PD, Naiman T. Heat stress in hot U.S. mines and criteria for standards for mining in hot environments: Mining enforcement and safety administration. United States: MESA; 1976.

5- Jafari MJ. Heat stress assignment for one of Tehran foundry's shift workers. Tehran: University of Tehran Publication; 1988. [Persian]

6- Srivatava A, Kumar R. Heat exposure studying the workplace in glass manufacturing unit in India. Occup Hyg. 2000;44:449-53.

7- International Standard Organization. Hot environments: Estimation of the heat stress on working men, based on the WBGT. Switzerland: ISO; 1989.

8- International Standard Organization. Ergonomics, determination of metabolic heat production. Switzerland: ISO; 1990.

9- Kroemer KHE. Fitting the task to the human. 5th ed. New York: Taylor and Francis; 1997.

10- American Conference of Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2000.

11- Brief RS, Confer RG. Comparison of heat stress indices. AIHA J. 1997;41(6):442-9.

12- Barzegar A, Sanjabi F, Chaboksavar N. Consideration of wet and bulb temperature index in Kermanshah steel plants in winter and summer season. Tehran; Congress of Safety-Health and Environment in Mines and Mines Industry, 2007. [Persian]

13- Yousefi H, Ahmadinejad P. Assessment of work environment physical hazardous agent in one of Isfahan steel plants. Hamedan; Proceeding of the 4th Overall Congress of Iranian Occupational Health, 2004. [Persian]

14- Occupational safety and health administration technical manual. heat stress. Section 3. Chapter 4. http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html.

15- Allan RE, Anania TL, Brief RS. Heating and cooling for man in industry. 2nd ed. USA: American Industrial Hygiene Association; 1975.

www.SID.ir